

PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE REJEITO UKP/BKP DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E DE RESÍDUOS DE *PINUS ELLIOTTII*: RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSOS E À RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR ÀS FACES

EQUIPE

Renata Oliveira Gama, Centro Universitário Leste de Minas Gerais, Ipatinga, MG

Fabício Moura Dias, Centro Universitário Leste de Minas Gerais, Ipatinga, MG

Maria Fátima do Nascimento, Escola de Engenharia de São Carlos, USP

Francisco Antonio Rocco Lahr, Escola de Engenharia de São Carlos, USP

RESUMO

No presente trabalho foram estudados painéis de partículas produzidos com rejeito UKP/BKP (Unbleach Kraft Pulp/ Bleach Kraft Pulp), proveniente da indústria de celulose, e com resíduos de serraria da espécie *Pinus elliottii*. O objetivo geral foi demonstrar a viabilidade técnica do emprego dos citados resíduos na produção, em laboratório, de painéis para emprego na construção civil, como componente da edificação (forros, divisórias, entre outros). Os painéis foram aglutinados com o adesivo uréia-formaldeído, parafina e sulfato de amônia, conforme recomendações da bibliografia. O delineamento experimental foi formulado considerando-se a produção de quatro painéis de cada uma das seguintes frações volumétricas de partículas: 0, 25, 50, 75 e 100% de rejeito UKP/BKP em substituição às partículas oriundas dos resíduos de serraria do

Pinus elliottii. Duas importantes propriedades de resistência foram avaliadas: a resistência ao arrancamento de parafusos e a resistência à tração perpendicular às faces dos painéis. Os ensaios seguiram as recomendações da NBR 14810:2006, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Foram tomados, para efeito de comparação, os valores obtidos para os painéis produzidos com 100% de resíduos de *Pinus*. Foi possível concluir que: para a tração perpendicular todas as frações volumétricas atenderam ao requisito da norma referida e, para o arrancamento de parafusos, as frações volumétricas de 25 e 50% de UKP/BKP levaram a aumentos significativos em relação ao padrão adotado.

Palavras-chave: Painéis particulados; rejeito UKP/BKP; resíduos de *Pinus elliottii*; propriedades mecânicas.

INTRODUÇÃO

A busca a cada dia de redução dos descartes industriais e a conscientização da necessidade do seu reaproveitamento como matérias-primas para a fabricação de outros produtos, vem expandindo as oportunidades para a recuperação de resíduos.

Os resíduos são originados das atividades industriais mais diversas, nas diferentes etapas dos processos produtivos adotados. Alguns segmentos geram consideráveis volumes de resíduos: o metalúrgico, o químico, o petroquímico, as indústrias de celulose e as indústrias de base madeireira, entre outros, conforme relatam Abreu et al (2009).

O processo de produção da celulose é responsável pela geração dos resíduos industriais correspondentes ao lodo biológico originário do tratamento de efluentes, às cascas de Eucalipto, à lama de cal (CaCO_3) e outros materiais alcalinos de sua planta de caustificação (Dregs e Grits), além dos rejeitos da depuração da polpa marrom e branqueada (Unbleach kraft pulp/Bleach kraft pulp - UKP/BKP).

De acordo com Tonoli (2010), os rejeitos UKP/BKP possuem uma grande quantidade de fibras de boa qualidade e com grande potencial de comercialização. Atualmente, são descartados em aterros sanitários (o que contribui para a diminuição da vida útil dos aterros) ou são direcionados para compostagem.

Por sua vez, Bustamante (2003) assinala que, nas instalações industriais então em funcionamento no país, a geração de rejeitos UKP/BKP poderia alcançar vinte toneladas diárias.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira, ABIPA (2009), o Brasil está entre os mais

avançados do mundo na fabricação de painéis de madeira reconstituída e possui o expressivo número de fábricas que utilizam equipamentos de última geração. Somente no caso dos painéis particulados, a produção anual supera os dois milhões de metros cúbicos. Deste modo, observa-se a grande demanda para produtos desta natureza. Conforme destaca Dias (2005), parcela preponderante da matéria prima para a fabricação dos painéis particulados ainda é proveniente de árvores inteiras, oriundas de áreas de florestas plantadas.

Nos últimos anos, cresceu o muito o número de pesquisas desenvolvidas objetivando o reaproveitamento de resíduos na produção de painéis particulados, para viabilizar novas aplicações que agreguem valor à grande quantidade de resíduos gerados nos mais variados setores industriais, conforme consta em trabalho organizado por Rocco Lahr (2008).

Razera (2006) aponta que os painéis particulados são constituídos de pequenos elementos (partículas) e se caracterizam pela estrutura descontínua da linha de cola: painéis de madeira aglomerada, painéis OSB, painéis de cimento madeira. Painéis particulados de madeira são produzidos com elementos aglutinados com a incorporação de adesivos sintéticos, consolidados por meio de prensagem a quente.

O processo de adesão é completado depois da transição do adesivo da forma líquida para sólida. Isto ocorre gradativamente com o aumento da viscosidade do adesivo até a sua solidificação, com a formação da linha de cola que deve resistir às forças que tendem a separar as superfícies coladas, quando estas são efetivamente ligadas, afirmam Dias e Rocco Lahr (2004).

Em síntese, este trabalho se desenvolveu no contexto de larga disponibilidade dos rejeitos UKP/BKP e resíduos do processamento da madeira, em particular da espécie *Pinus elliottii*, na busca por alternativas que viabilizem seu reaproveitamento em aplicações voltadas à construção civil. Os painéis estudados foram avaliados com relação a duas propriedades mecânicas fundamentais para tal emprego: a resistência à tração perpendicular às faces e a resistência ao arrancamento de parafusos.

MATERIAL E MÉTODOS

No desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados:

- Resíduos de *Pinus elliottii* provenientes do processamento de tal espécie na oficina do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), Depar-

tamento de Engenharia de Estruturas (SET), Escola de Engenharia de São Carlos (ESC), Universidade de São Paulo (USP). As máximas dimensões de tais partículas foram 2mm, conforme recomendações de Nascimento (2003);

- Rejeitos UKP/BKP descartados no processo de produção de celulose, fornecidos por indústria de celulose localizada na região do Vale do Aço, MG, sem alteração das dimensões originais;
- Emulsão de parafina, adicionada à composição de partículas para efeito de melhorar a estabilidade dimensional do painel, reduzindo sua capacidade de absorção de água, conforme assinalam Dias et al (2005);
- Sulfato de amônio, com função de catalisador.

As partículas do rejeito UKB/BKP passaram por um processo de secagem, para alcançar teor de umidade ao redor de 6%. Posteriormente foram peneiradas para a separação do pó.

As partículas de madeira também foram secas até atingir umidade ao redor de 6%.

Os painéis de particulados foram confeccionados conforme as relações de massa apresentadas na tabela 1.

Tabela 1: Plano para manufatura dos painéis aglomerados

Composição	Rejeito UKP/ BKP (%)	Rejeito de <i>Pinus elliottii</i> (%)
1	100	0
2	75	25
3	50	50
4	25	75
5	0	100

Para o adesivo, utilizou-se 12% em relação à soma das massas dos rejeitos UKP/BKP e dos resíduos de *Pinus elliottii*. Além disto, empregou-se 1,5% de parafina e 1% de sulfato de amônia, para completar a formulação.

Os painéis particulados foram manufaturados no LaMEM/SET/ EESC/USP.

Em função dos volumes de rejeitos e de resíduos disponíveis, optou-se pela produção de quatro painéis por formulação, resultando em vinte painéis produzidos.

Foi adotada a espessura nominal de 10 mm para os painéis a produzir, pois se trata de dimensão muito usual de painéis comercializados no mercado do setor.

De início, rejeitos, resíduos e demais produtos componentes da formulação foram misturados em equipamento específico, pelo período de cinco minutos, para permitir a adequada uniformização da mistura. Em seguida, as partículas foram

distribuídas em uma forma de 500 mm x 500 mm, pré-prensadas (pressão de 0,2 MPa) e levadas à prensa para o ciclo de prensagem propriamente dito.

Este ciclo teve a duração de dez minutos, com pressão de 4 MPa e temperatura de 135°C, conforme já havia recomendado Dias (2005).

Após a prensagem aguardou-se um período de três dias para cura da resina. Em seguida, foram retirados corpos-de-prova (CP's), seguindo as dimensões propostas pela NBR14810 (2006), para a realização dos ensaios mecânicos previstos (tração perpendicular às faces e arrancamento de parafusos).

Os CP's para tração perpendicular foram preparados utilizando o adesivo comercial Araldite Profissional. As peças de madeira utilizadas no aparato de ensaio foram coladas perpendicularmente umas a outra para adaptação na máquina de ensaios, conforme pode ser observado na figura 1.



Figura 1: Ensaio de resistência à tração perpendicular

Os ensaios foram realizados depois de um período de vinte e quatro horas, necessário para se consolidar a cura do adesivo mencionado.

O ensaio para a determinação da resistência ao arrancamento de parafusos é realizado para verificar o desempenho dos painéis particulados quando solicitados em situações usualmente encontradas forros, divisórias e outras aplicações que exijam a fixação de pregos ou parafusos, de acordo com o que é assinalado por Nascimento (2003).

Para este ensaio, os CP's apresentaram dimensões de 150 mm x 75 mm. Com o auxílio de furadeira e chave de fenda, o parafuso de 2,8 mm de espessura foi introduzido no centro do CP, ver figura 2, até uma profundidade de 17 mm. Em seguida, os CP's foram submetidos ao ensaio propriamente dito.

Ao todo foram efetuados oitenta ensaios, quarenta para cada uma das propriedades estudadas no trabalho.



Figura 2: CP's para ensaio de arrancamento de parafuso na superfície

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2, constam os resultados obtidos para as duas propriedades estudadas, registrando-se que, para cada painel produzido, foram realizados dois ensaios por propriedade. Ao total foram quatro painéis para cada composição apontada na Tabela 1. Apresentam-se, na tabela 2, os valores médios para cada composição, resultantes de oito ensaios por propriedade estudada.

Tabela 2: Valores médios da resistência à tração perpendicular às faces (RTF) e resistência ao arrancamento de parafusos (RAP)

Composição	RTF (MPa)	RAP (daN)
1	0,42	5
2	0,44	8
3	0,45	8
4	0,42	6
5	0,40	4

De acordo com o documento normativo NBR 14810 – 2 (2006), painéis particulados, com espessura compreendida entre 5 e 13 mm, devem apresentar um valor mínimo de resistência à tração perpendicular às faces correspondente a 0,40 MPa.

Os valores encontrados neste trabalho variaram de 0,40 a 0,45 MPa, o que significa que os painéis produzidos nas formulações escolhidas atendem a esse requisito normativo, mesmo aqueles produzidos apenas com rejeitos UKP/BKP. Assim, é possível considerar que houve, no processo produtivo, adequada homogeneização entre as partículas e a resina utilizada.

No que se refere ao ensaio de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície, os valores médios encontrados para as composições 2, 3 e 4 foram superiores aos obtidos para os painéis fabricados apenas com partículas de madeira. Painéis de partículas de rejeitos UKP/BKP apresentaram resultado médio inferior ao da composição 1.

Como não existem na literatura outros trabalhos que tenham tratado do assunto aqui estudado, não há como comparar os resultados obtidos. Entretanto, cabe mencionar os resultados obtidos por Dias (2004) que, no estudo de painéis de partículas de madeira (*Eucalyptus* sp), obteve valores em torno de 7 daN para a resistência ao arrancamento de parafusos de painéis confeccionados a uma temperatura de 60 °C e à pressão específica de 4,0 MPa, com adição de parafina. Observa-se que os resultados aqui apresentados são da mesma ordem de grandeza, corroborando para evidenciar o bom desempenho dos painéis estudados.

aos painéis produzidos somente com rejeitos UKP/BKP ou somente com resíduos de madeira. Este aspecto evidencia que é viável se considerar, para os próximos estudos, a avaliação dos referidos painéis em relação a outras propriedades físicas e mecânicas, para confirmar seu bom desempenho tendo em vista as aplicações já mencionadas.

CONCLUSÃO

Tendo como base os resultados obtidos nos ensaios dos corpos-de-prova extraídos dos painéis produzidos com rejeitos UKP/BKP, provenientes da indústria de celulose, e resíduos do processamento de *Pinus elliottii*, para as propriedades analisadas, pode-se concluir que:

- O valor médio da resistência à tração perpendicular às faces dos painéis atendeu ao requisito da NBR 14810 (2006), mostrando que a adesão entre as partículas ocorreu de modo satisfatório para todas as composições avaliadas, validando o processo adotado na produção.
- Os valores médios da resistência ao arrancamento de parafusos, para os painéis com 25% e 50% do rejeito UKP/BKP, foram os mais elevados, evidenciando que o emprego de partículas das duas origens consideradas levou a resultados mais interessantes em relação

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. ABIPA. 2009. < <http://abipa.org.br> > Acesso em 16 de setembro de 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810 - Chapas de madeira aglomerada. Parte 1: Terminologia. ABNT. Rio de Janeiro. 5p. 2006.

_____. NBR 14810 - Chapas de madeira aglomerada. Parte 2: Requisitos. ABNT. Rio de Janeiro. 4p. 2006.

_____. NBR 14810 - Chapas de madeira aglomerada. Parte 3: Métodos de Ensaio. ABNT. Rio de Janeiro. 15p. 2006.

ABREU, L. B.; MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M. Aproveitamento de resíduos de painéis de madeira gerados pela indústria moveleira na produção de pequenos objetos. Revista Árvore, Viçosa, v.33, n.1, p.171-177, 2009.

BUSTAMANTE, H. H. Finalidades para o rejeito UKP/BKP na indústria de polpação Kraft de eucalipto. 2003, 32f. Monografia (Especialização em Tecnologia de Celulose e Papel). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

DIAS, F. M.; NASCIMENTO, M. F.; ESPINOSA, M. M.; ROCCO LAHR, F. A.; Valarelli, I. D. Relation between the compaction rate and physical and mechanical properties of particleboards. Materials Research, São Carlos, v. 8, n. 3, p.329-333, 2005.

DIAS, F. M. Aplicação da resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada. 2005, 150p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, Campus de São Carlos), Universidade de São Paulo.

DIAS, F. M.; ROCCO LAHR, F. A. Alternative castor oil-based polyurethane adhesive used in the production of plywood. Materials Research, São Carlos, v.7, n.3, p.413-420, 2004.

IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, J.C.; DEL MENEZZI, C.H.S.; PUEHRINGER, C.A.; VENSON, I. LARROCA, C. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. Revista Árvore, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 883-887, 2004.

NASCIMENTO, M. F. Chapas de Partículas Homogêneas – Madeiras do Nordeste do Brasil. 2003. 143f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, Campus de São Carlos), Universidade de São Paulo.

RAZERA, D. L. Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira. 2006, 156p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná.

ROCCO LAHR, F. A. R. (Org). Produtos derivados de madeira. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2008, 152p.

TONOLI, G. H. D. Fibras curtas de Eucalipto para novas tecnologias em fibrocimento. 2010, 148p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, Campus de São Carlos), Universidade de São Paulo.